

(書誌+要約+請求の範囲)

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)
(12)【公報種別】公表特許公報(A)
5 (11)【公表番号】特表2001-503134(P2001-503134A)
(43)【公表日】平成13年3月6日(2001. 3. 6)
(54)【発明の名称】携帯可能な手持ちデジタル地理データ・マネージャ
10 (51)【国際特許分類第7版】
G01C 11/06
21/00
G01S 5/14
G03B 17/24
15 G09B 29/10
G10L 15/00
15/28
H04N 5/225
【FI】
20 G01C 11/06
21/00 Z
G01S 5/14
G03B 17/24
G09B 29/10 A
25 H04N 5/225 F
G10L 3/00 551 Q
【審査請求】未請求
【予備審査請求】有
【全頁数】51
30 (21)【出願番号】特願平10-512925
(86)(22)【出願日】平成9年9月5日(1997. 9. 5)
(85)【翻訳文提出日】平成11年3月8日(1999. 3. 8)
(86)【国際出願番号】PCT/US97/15649
(87)【国際公開番号】WO98/10246
35 (87)【国際公開日】平成10年3月12日(1998. 3. 12)
(31)【優先権主張番号】60/025, 528
(32)【優先日】平成8年9月6日(1996. 9. 6)
(33)【優先権主張国】米国(US)
(81)【指定国】EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR,
40 GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, T G), AP(GH, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CU, CZ, EE, GE, HU, I
45 L, IS, JP, KP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SD, SG, SI, SK, SL, T R, TT, UA, UZ, VN, YU, ZW
(71)【出願人】
【氏名又は名称】ユニバーシティ オブ フロリダ
50 【住所又は居所】アメリカ合衆国 フロリダ州 ゲインズビル
グリンター ホール 223
(72)【発明者】

【氏名】アレクサンダー ジョン

【住所又は居所】アメリカ合衆国 フロリダ州 ゲインズビル
55 58ス ウェイ エヌ. ダブリュー. 4236

(74)【代理人】

【弁理士】

【氏名又は名称】清水 初志 (外1名)

(57)【要約】

本発明は、携帯可能な手持ち地理データ・マネージャ(GDM)を使用して画像およびその他の現場データを効率的かつ正確に収集する装置および方法を提供する。本発明のGDMは、GPSアンテナおよびGPS受信機、デジタル・コンパス、傾斜計、ジャイロスコープ、ならびにデジタル・カメラの組合せを使用して、位置を与えることのできるデータと、調査中の目標に関する他の地理的データおよび情報
65 とを収集し、処理し、および／または記憶することができる。本発明のGDMは、環境サンプリング、測量、農業現場データ収集、不動産評価、法律施行、および建築工事検査を含む分野に適用することができる。

75

【特許請求の範囲】

1. 処理ユニットを備える携帯可能な手持ちデータ収集装置であって、処理ユニットが、(a)該装置の位置を特定する機能、(b)デジタル写真画像を与える機能、(c)該装置に対する該画像の方向を特定する機能の各機能を実行する構成要素に接続され、該構成要素と通信する装置。
2. リモート・ホスト・コンピュータと無線通信する手段をさらに備える、請求項1記載の装置。
3. 電源をさらに備える、請求項1記載の装置。
4. 位置が、GPSを使用して特定される、請求項1記載の装置。
5. 2つのデジタル・カメラを備える、請求項1記載の装置。
6. 2つのデジタル・カメラの間の距離を増減させることができる、請求項5記載の装置。
7. 傾斜計を備える、請求項1記載の装置。
8. 音声認識機能を備える、請求項1記載の装置。
9. ジャイロスコープを備える、請求項1記載の装置。
10. 地理データを収集する装置であって、該装置の位置を与える位置手段と、目標を撮影する撮影手段と、処理手段とを備え、該処理手段が、位置手段からのデータと撮影手段からのデータを受信して処理し、画像目標に関する地理データを与えることのできる装置。
11. 位置手段が、衛星位置決定システムに基づく受信機を備える、請求項10記載の装置。
12. 位置手段が、少なくとも1つのGPS受信機を備える、請求項11記載の装置。
13. 位置手段が、少なくとも2つのGPS受信機を備える、請求項12記載の装置。

14. 位置手段が、地上ベースの位置決定システムに基づく受信機である、請求項10記載の装置。
15. 撮影手段が2つのデジタル・カメラを備え、両方のカメラからのデータを処理することによって、該装置から撮影された目標までの距離が求められる、請求項10記載の装置。
16. 装置の方位を与える方位手段をさらに備える、請求項10記載の装置。
17. 方位手段がデジタル・コンパスである、請求項16記載の装置。
18. 方位手段が、少なくとも2つのGPS受信機である、請求項16記載の装置。
19. ユーザが装置と対話できるようにするためのユーザ・インタフェース手段をさらに備える、請求項10記載の装置。
20. 装置のピッチを与えるピッチ手段をさらに備える、請求項10記載の装置。
21. ピッチ手段が傾斜計である、請求項16記載の装置。
22. 装置のピッチ手段がジャイロスコプである、請求項20記載の装置。
23. ピッチ手段が少なくとも2つのGPS受信機である、請求項20記載の装置。
24. 装置のロールを与えるロール手段をさらに備える、請求項10記載の装置。
25. 装置のロールを与えるロール手段が傾斜計である、請求項24記載の装置。
26. 手段がジャイロスコプである、請求項2記載の装置。
27. ロール手段が少なくとも2つのGPS受信機である、請求項24記載の装置。
28. ユーザ・インタフェース手段が、タッチ・スクリーンを有するフラット・パネル・ディスプレイ、音声対話、ペン・コマンド、およびキーボードからなる群より選択される、請求項19記載の装置。
29. 少なくとも3つのGPS受信機を備え、該3つのGPS受信機からのデータが、該装置の位置、方位、ピッチ、およびロールを与える、請求項10記載の装置。
30. 2つのデジタル・カメラを備え、該2つのカメラからのデータが3つのGPS受信機からのデータと組み合わせられ、撮影済みの目標の三次元地理データが与えられる、請求項29記載の装置。
31. リモート・ホスト・コンピュータと無線通信する手段をさらに備える、請求項10記載の装置。
32. 処理手段が、撮影済みの2つの目標の地理的關係が与えられるように、撮影済みの目標の地理データを処理する、請求項10記載の装置。

詳細な説明

【発明の詳細な説明】

携帯可能な手持ちデジタル地理データ・マネージャ 本出願は、1996年9月6日に提出された米国仮出願第60/025528号の出願日の利益を請求するものである。

発明の背景 保険精算人、地球物理学者、建設作業員、宅地開発業者、他の同様な分野の作業者は多くの場合、現場に関する地理的データ、地形的データ、視覚的データ（すなわち、写真）、その他のデータを収集し理解する必要がある。このような現場は、遠方にあり、および／またはコンピュータもしくは場合によっては電源に容易にアクセスできない位置にある。現在の所、このような情報を収集し処理する手持ちの携帯可能な装置はない。地理的位置を有するほぼすべての地形を見るには、印刷された地図を利用することができる。印刷された地図の制限は、関連する地形を見つけるときにユーザが手動で地図全体から探さなければならないことである。最近、いくつかの応用分野では紙の地図に代わるものとして電子地図が利用されている。ビット・マップとして、または地図キャラクタを指し示すベクトルとしてマップ・データベースがメモリ記憶装置に記憶されている。位置測定受信機を有するユーザに電子位置情報を提供する多くの電子位置測定システムが利用されており、または提案されている。地上ベースの位置測定システムは、よく知られており、主として携帯電話、FM放送、AM放送などの通信用に開発されたシステムを含む。世界的な位置決定システム（GPS）は、グローバル・ナビゲーション・システムであり、ユーザが衛星から得られた信号を使用して位置を特定することを可能にする。GPSシステムは、よく知られており、特定の位置を正確に特定するために広く使用されている。GPSシステムは、衛星網を使用して地上の位置を特定し、自動車、航海、建設、鉱業、農業、その他の様々な応用分野で広く使用されている。たとえば、米国特許第5528248号および国際公開公報第95/05686号を参照されたい。グローバル・オービティング・ナビゲーション・システム（GLONASS）など他の衛星位置決定システムも知られている。地図作成者、公益事業業者、野生生物管理者などはGPS技術を地理情報システム（GIS）と共に使用して、特に遠隔位置での地図作成手順およびその他の現場作業を改善している。このような応用分野では、データの記憶および検索を容易にするためにコンピュータの使用度が増加している。パーソナル・デジタル・アシスタント（PDA）は、約200cm³〜1200cm³の範囲の体積を有する手持ちパーソナル・コンピュータ装置の総称である。PDAは、いくつかのデスクトップ・パーソナル・コンピュータと同程度の計算力を有し、地図作成を含め、様々な応用分野で使用されている。残念なことに、ハードウェア面およびソフトウェア面の問題によって、複数構成要素データ収集システムを現場で使用する能力は制限されている。現場で使用するGPS、2方向無線、手持ちペン・コンピュータなどの接続機器は、いくつかの障害を与える。すなわち、多数のワイヤおよびケーブルは、デスクトップ・コンピュータには有用であるが、手持ち装置には無用である。本発明の基本は、位置データ、画像データ、その他のデータを

収集し、この情報を同時に処理するための頑丈で完全に一体化され使いやすい手持ち複数構成要素現場データ収集システムを開発することである。

発明の簡単な概要 本発明は、現場のデータを収集し、検

5 証し、計画し、実施するのを助ける方法および装置に関する。本発明の装置は、手持ち式であり、携帯可能であり、デジタルであってよく、地理データ・マネージャ (GDM) と呼ぶことができる。本発明のGDMは、たとえば建設業界や公益事業業界のニーズを満たすように構成される。本発明の方法および装置は、環境サンプリング、

10 測量、農業データ収集、不動産評価、法律施行、建設工事検査など他の作業に適用することもできる。

特定の応用分野には、ガス、水道、下水、電話、ケーブルTV、地方政府、州政府、連邦政府の検査局、保険業界、輸送業界が含まれる。

15 本発明のGDMは、たとえば中央演算処理装置 (CPU) と相互接続された複数のコンピュータを備える。好ましくは、この複数の構成要素は、少なくとも1つのデジタル・カメラ、少なくとも1つのGPS受信アンテナ、GPS処理構成要素、無線通信機能、傾斜計を含むデジタル・コンパス、およびユーザ対話機能を含む。本発明の好ましい態様では、GDMは、GDMから目標までの距離を測定するのを容易にする少なくとも2つのデジタル・カメラを備える。特定の態様では、GDMのデジタル・コンパスおよび傾斜計によって、カメラの方位を測定することができ、それによって、デジタル・カメラからの画像に現われる目標の正確な位置を容易に測定することができる。

本発明のGDMは、目標の二次元位置を測定する必要のある応用分野で使用することができ、たとえば、目標の高さが必要とされないときに使用することができる。特定の態様では、本発明のGDMは2本のGPSアンテナと2つのカメラとを備え、これによって目標の二次元位置を測定することができる。この態様では、GDMの方位および位置を測定し、かつ2つのデジタル・カメラによって目標までの距離を測定し、それによって、目標の二次元位置を測定するために必要とされるデータを得ることができるように、2本のGPSアンテナをずらすことができる。または、コンパスによって方位を測定することができ、2つのカメラを使用して目標からGDMの位置までの距離を測定することができる。もう一つの別の態様では、たとえば、目標の方向がわかっている場合、傾斜計および2つのデジタル・カメラによってピッチおよび距離のデータを得て、このデータを使用して目標からGDMの位置までの高さおよび距離を求めることができる。

好ましい態様では、本発明のGDMは、少なくとも3本のGPSアンテナと対応する受信機を備え、GPSアンテナは平面に配置される。すべての3本のGPSアンテナによって1つのGPS衛星から信号を受信することによって、GDMの方位、ピッチ、ロールに関する情報と位置に関する情報を得ることができる。

したがって、この情報を、少なくとも2つのカメラから得た画像から測定された距離情報と組み合わせたときに、GDMは、撮影された目標の三次元での正確な位置に関する情報を与えることができる。有利には、3本のGPSアンテナを組み合わせたれば、平面内のすべての3本のGPSアンテナによってGPS信号が受信されるのでGDM位置をより正確に測定することができる。

55 50 60 65 70 75 80 85 90 95 100

他の特定の態様では、本発明のGDMは、GDMの方位、ピッチ、および/またはロールに関するデータを与えることのできる、少なくとも1つのジャイロスコープ、たとえばレーザ・ジャイロスコープを備えることができる。有利には、レーザ・ジャイロスコープは、コンパスほど、金属による混乱を受けない。また、ジャイロスコープは、GDMのGPSアンテナが移動しているときにGPSから受信されるデータから較正することができる。

他の態様では、本発明のGDMを他の構造、たとえば車両に組み込むことができる。この構造には、少なくとも1本のGPSアンテナと、GDMのカメラに対するGPSアンテナの位置に関するデータをGDMに与える手段とを組み込むことができる。この態様は、GDMを、たとえば高いビルの近くで使用し、GPS衛星信号が跳ね返り、および/または遮断される可能性がある場合に有用である。GDMは、構造、たとえば車両に対するGDMの位置がわかるように、その構造に取り付けるための手段を有することもできる。特定の態様では、アンテナ同士の間の距離を大きくし、したがって、距離をより正確に測定することができるようにGPSアンテナを構造上に取り付けることができる。

本発明の好ましい態様では、GDMは、リモート位置にあるホスト・コンピュータへデータを無線送信する機能を備える。本発明のGDMはさらに、タッチ・スクリーン・コントローラおよび/またはボイス・コントローラを備えることができる。好ましくは、本発明のGDMはさらに電源を備える。この電源はたとえば、バッテリー・パックと、電流を様々なデータ収集構成要素およびデータ処理構成要素の要件に適合するように変調するのに必要な電気構成要素であってよい。

好ましい態様では、本発明の一体型手持ち現場デジタル・データ・マッピング装置は以下のことが可能である。

(1) 世界的位置決定システム (GPS) データを収集しマッピングすること、(2) GPS位置、速度、方向を連続的に報告すること、(3) 磁気方位、ピッチ、ロールを含む方位を報告すること、(4) 目標までの距離を測定するために使用される複数対のカラー・デジタル画像またはグレー・レベル・デジタル画像 (写真) を収集すること、(5) 音声コマンドおよび音声問合せ、(6) タッチ・センシティブ・アイコン制御 (7) 現場の観測に関するアイコンによる注意を与えること、(8) ホスト・データベース局による2方向無線データ転送、(9) 現在の環境を点、線、地域の特徴でマップすること、(10) 所望の位置へのナビゲーション支援を行うこと、(11) バッテリー・パックによって様々な構成要素に電力を

与えることを可能にする電力管理、(12)赤外線画像を収集すること、(13)バーコード読取り、(14)音声アノテーション、(15)ビデオ・アノテーション、(16)WEB/Ethernet電話機能、(17)指紋認識、(18)デジタル・インキング、(19)インターネット準拠設計としてのネイティブ・メソッド/タブレット、(20)イーサネット、(21)PCカード、および(22)タッチ/ペン入力。

図面の簡単な説明 図1は、本発明の装置の一態様の構成要素を示すブロック図である。

図2は、2つのデジタル・カメラによって生成された画像を使用して本発明の装置から目標までの距離を測定することを示す概略図である。

図3は、埋込みコントローラ・プロセッサ・システムの概略図である。

図4は、デジタル・コンパスおよび傾斜計の概略図である。

図5は、フラッシュ・メモリ・サブシステムの概略図である。

図6は、GPS受信機サブシステムの概略図である。

図7は、LCD表示サブシステムの概略図である。

図8は、タッチ・スクリーン・インタフェースおよびモジュールの概略図である。

図9は、ステレオ・デジタル・カメラ・サブシステムの概略図である。

図10は、デジタル・ステレオ測距計サブシステムの概略図である。

図11は、音声コマンド・サブシステムの概略図である。

図12は、無線ネットワーク・インタフェースの概略図である。

図13は、本発明に係るGDMの態様のブロック図である。

図14は、本発明に係るJAVAネイティブ・メソッドとしてのカメラ・サブシステムのオブジェクト指向制御の概略図である。

図15は、本発明に係る手持ちGDMの図である。

図16は、本発明に係る、車両に組み込むことのできるGDMの図である。

図17は、本発明に係るGDMの基本機能モジュールを示す図である。

図18は、Dycamデジタル・カメラを2つのCCDセンサと共に使用する、本発明に係るGDMのカメラ・モジュールを示す図である。

図19は、鏡を使用して、左光学系から得た画像および右光学系から得た画像を高解像度CCD検出器へ中継する、本発明に係るGDMのカメラ・モジュールを示す図である。

図20は、2本のGPSアンテナと2つの画像収集光学系とを使用する、本発明に係るGDMの態様を示す図である。

図21は、ジャイロスコープを使用してGDMの方位、ピッチ、および/またはロールに関するデータを与える、

本発明に係るGDMの態様を示す図である。

発明の詳細な説明 本発明は、様々な応用分野で使用される現場データを収集し使用する際に極めて有利なシステム設計、材料、方法を提供する。本発明の地理データ・マネージャ(GDM)は、位置データ、画像データ、その他のデータを収集し、この情報を同時に処理する多構成要素システムである。本発明は、建築工事およびユーティリティの監視、環境サンプリング、測量、農業現場データ収集、法律施行、公共安全、不動産評価など他の作業に適用することもできる。特定の応用分野には、ガス、水道、下水、電話、ケーブルTV、地方政府、州政府、連邦政府の検査局、保険業界、輸送業界が含まれる。

図17を参照すると、本発明の主機能ブロックを示すブロック図が示されている。好ましい態様では、本発明のGDMは、中央プロセッサ・ユニット(CPU)1、好ましくは低電力マイクロプロセッサを備え、CPUは、他のシステム構成要素からのデータおよびコマンドの受信の調和を図り、収集され、記憶され、および/または処理されたデータを処理し、本発明のGDMの動作中に必要とされるデータを与える。高速データ・リンク2は中央プロセッサ・ユニット1とカメラ・モジュール3、ユーザ・インタフェース・モジュール4、方向・方位モジュール5、位置モジュール6、電源モジュール7、および任意選択のネットワーク通信モジュール8とをリンクすることができる。

カメラ・モジュール3は、調査中の目標のデジタル画像を表すデータを収集することができる。カメラ・モジュール3は、CPU1から制御信号を受信し、デジタル画像を表すデータを記憶および/または処理できるようにCPU1へ送信する。ユーザ・インタフェース・モジュール4は、高速データ・リンク2によってCPU1に接続され、ユーザがGDMとのインタフェースをとることを可能にする。ユーザ・インタフェース4は、ユーザが、GDMに記憶されている画像、現在カメラの視界に入っている物体、および/またはユーザがGDMの動作を制御することを可能にするアイコンを見ることを可能にする。ユーザ・インタフェース4は音声認識および音声コマンド、ヘッドアップ・ディスプレイ、ペン入力もしくはタッチ入力によるコンピュータ・ディスプレイ・フラット・パネル、および/または様々な他のユーザ・インタフェースを使用することができる。

方向・方位モジュール5は、高速データ・リンク2によってCPU1に接続され、GDMの方位、ピッチ、および/またはロールを測定するために使用されるデータをCPU1に供給し、CPU1からデータを受信することもできる。たとえば、CPU1は、CPU1が位置モジュール6から受信したデータであり、方向・方位モジュール5の機器の較正で有用なデータをCPU1へ送信することができる。コンパス、傾斜計、ジャイロスコープ、および/または組み合わせられたGPS受信機を使用してGDMの方向および方位に関するデータを収集することができる。

位置モジュール6は、高速データ・リンク2によってCPU1に接続され、GDMの位置を測定するために使用することのできるデータを収集しCPU1へ送信する。

位置モジュール6は、たとえば、衛星および／または地上ベースの位置決定システムを含め様々なシステムを使用してこのデータを収集することができる。本発明の好ましい態様では、位置モジュールはGPSアンテナおよびGPS受信機を使用して衛星信号を受信し、この信号によって、CPU1はGDMの位置を測定することができる。特定の態様では、たとえば、3本のGPSアンテナおよびGPS受信機を使用してGDMの位置、ピッチ、および／またはロールに関するデータを得るときに方向・方位モジュール5と位置モジュール6を組み合わせることができる。

任意選択のネットワーク通信モジュールは、高速データ・リンクによってCPU1に接続され、このモジュールを使用してGDMがリモート設備、たとえばGDMからのデータを受信しGDMへデータを送信することのできる家庭オフィス・コンピュータと通信することを可能にすることができる。ネットワーク通信モジュールは、たとえば無線網や有線網を使用することができる。特定の態様では、たとえば、データを転送するために、少なくとも2つのGDMがネットワーク通信モジュールを介して互いに通信することができる。

本発明の手持ちデータ収集装置は、好ましい態様では以下の要素を備える。

(a) 画像データを記憶し処理し、複数のデータ検知モジュールとのインタフェースをとることのできる埋込みコンピュータ。ユーザは、ペン入力および／またはタッチ・スクリーン入力を有するカラーまたは白黒のLCDまたは適切なディスプレイ上のグラフィックスおよび英数字による結果を見る。ユーザは、アクション・アイコンに触れるか、もしくはそれを指し示すことにより、または音声コマンドを介してシステムを制御する。または、マウスおよびキーボードを使用して、より従来型のユーザ入力およびシステムの制御を行うことができる。

(b) 後処理機能またはリアルタイム微分補正機能を用いて地理的位置を正確に取り込むことのできる世界的位置決定受信機(GPS)。このようなシステムでは1mを上回る精度を達成することができる。位置データを処理するGPSから中央コンピュータへのインタフェースと、結果を表示し記録するのに必要なソフトウェア。GPSデータの微分補正を使用して、利用できるリアルタイム処理と後処理のどちらかの精度が高められる。

(c) 正確な方位を測定することのできるデジタル・コンパス。方位を測定することのできる他の装置、たとえばジャイロスコープや一対のGPS受信機を使用して方位を算出することができる。ジャイロスコープは、GDMが移動しているときにGPS受信機から得られる方位から較正することができる。特定の態様では、誤差が約1度よりも小さなデジタル・コンパスを使用することができる。

デジタル方位装置から中央プロセッサへのインタフェースと、方向情報または方位情報を処理し表示し記憶することのできるソフトウェア。

(d) 正確なピッチ・ロール・データを与えることのできる手段、たとえばデジタル傾斜計。カメラの視界の中心線に平行な平面に関する、たとえば誤差が1度未満の正確なピッチ・ロール・データは、観測中の目標の正確な位置を測定するのを助けることができる。例えば、利用可能なデジタル傾斜計は、約1度未満の誤差で使用することができる。ジャイロスコープ型装置および／または1組のGPS受信機を使用してリアルタイム方位データを収集することもできる。たとえば傾斜計から埋込みコンピュータへのインタフェースはピッチ・ロール・データを転送する。システム・ソフトウェアは、ピッチ・ロール・データを処理し、表示し、記憶する責任を負う。これにより、このデータを使用して新しい座標を算出することができる。

(e) 各レンズが同じ平面内にあり、各レンズの視界の中心が他方のレンズの視界の中心を通る線に平行である、整吉良な光学系が取り付けられた一対のデジタル・カメラ。カメラから埋込みコンピュータ・プロセッサへのインタフェースと、画像を表示し、処理し、記憶することのできるソフトウェア。

(f) ステレオ画像対中の一方の画像で選択された目標を見つけることのできるステレオ画像処理ソフトウェア・アルゴリズムまたはステレオ画像処理ハードウェア・アルゴリズム。ステレオ画像対において目標が見つかった後、2つの目標の間の変位をレンズの光学特性およびレンズ同士の間隔と共に使用して、当該の目標までの距離が算出される。15フィートでは±1インチの精度を達成することができ、9インチしか離れていないレンズを使用すれば、30フィートで±1フィートを容易に達成することができる。距離精度は、距離が増加するにつれて低下していく。しかし、カメラを摺動させて間隔を広げ、および／またはテレフォト・レンズをカメラに取り付けることによって、より長いレンジの精度が達成される。たとえば、2xテレフォト・レンズでは、精度は30フィートで±1インチになる。GDMは、手持ちユニットを小形化するために9インチの間隔を置いて配置されたレンズを備えることができる。しかし、レンズを18インチに広げると精度が高まる。GDMの水平解像度は640画素にすることができる。

より解像度の高い画像センサも距離精度を高める。最大の距離精度を得るために、より解像度の高いセンサが、より広い間隔を置いて配置されたレンズおよびテレフォト・レンズと共に使用される。

(g) 簡単な距離測定および測距によって、ユーザが必要とする当該目標を見つけられるだけでなく、収集されたステレオ画像対を使用して、現場で当該の目標を測定するか、またはレンズの光学特性およびレンズ間隔を、生成されたステレオ画像対と共に記憶することによって後で当該の目標を測定することができる。

(h) PCカードまたは適切なコンピュータ記憶媒体に記憶されたシステムのデータは、2方向デジタル・パケット無線またはアナログ携帯電話もしくはデジタル携帯電話で構成することのできる無線網を介して基地局へ送信することができる。または、赤外線リンク、シリアル・ケーブル、電話システム上のモデム、有線網接続、Ethernet、PCカード、フロッピー・ディスク、またはその他の利用可能なチャネルを介してデータを交換することができる。

(i) 現場でのユーザの調整活動を助けるために、デジタル・データ・リンクを介して各ユニットの間の音声通信を行うことができる。

(j) プロトタイプ・システムのソフトウェアはインターネット・ベースのWWWの使用を向上させるように構成される。リアルタイム・オペレーティング・システムを使用して、カメラ、GPSまたは複数のGPS受信機、方向・方位装置、無線ネットワーク・インタフェースまたは有線ネットワーク・インタフェース、バッテリー・電源管理サブシステム、グラフィックス・ディスプレイ、オーディオ入出力装置などの各装置を管理することができる。プロトタイプ・システムでは、各装置ごとにJavaネイティブ・メソッドが設けられる。たとえば、WebベースのJavaプログラムを実行し、ステレオ・デジタル画像対を表示し、測距計算を行うカメラ・オブジェクトがある。

(k) メイン・コンピュータ・システムと各データ収集サブシステム装置による電力の使用を調整することによってGDMの使用可能バッテリー寿命を最大にするように構成された電源管理システム。

好ましい態様では、本発明のGDMは、当該の部位の写真画像を与えることができるだけでなく、GDMから、デジタル・カメラによって生成される画像中の目標までの距離を測定することを容易にする一対のデジタル・カメラを使用する。距離の測定は、2つのカメラによって生成された画像を比較し2つ画像中の単一の目標からの距離を求めるソフトウェア・プログラムを使用し、GDMによって行うことができる。図2を参照するとわかるように、画像中の距離は、目標のGDMからの距離に正比例する。目標からの距離は、以下の関係式から求めることができる。

$$d_o = \frac{f d_c}{d_i}$$

上式で、 d_o は目標までの距離であり、 d_c は、カメラ同士の間の間隔であり、 d_i は、目標の2つの画像の、カメラからのずれであり、 f は、カメラのレンズの焦点距離である。

本発明のGDMは、一連の簡単な計算ステップを通じて、目標の画像同士の間の距離を分析し、これをGDMから目標までの距離に変換する。

好ましい態様では、本発明のGDMは、各レンズの光学

系の中心を通る線を通る軸上で厳密に回転されるステレオ・カメラ・レンズを有することができる。調査中の目標を指し示すようにレンズを回転させることによって、目標までの距離をより厳密に測定することができる。この態様では、互いに平行なレンズを用いて第1の画像セットを得ることができる。目標までの距離を算出し、この距離を使用して各レンズの回転角度を算出することができる。次いで、回転角度をわずかに変更することによって同じ目標の2つの画像を整合させる。レンズのこの回転角度を使用して最終範囲を算出することができる。好ましい態様では、GDMは、たとえば傾斜計によって測定されたGDMのピッチおよびロールを同時に記録し、たとえばデジタル・コンパスによって測定されたGDMの磁気方位を記録する。この情報は、GPS情報と共に、すべて、CPUによって本質的に同時に処理され、たとえば、無線通信構成要素によってリモート・ホスト・コンピュータへ送信することができる。

以下の2つの表は、本発明の特定の2つの態様を使用した距離測定の精度を示す。これらの表で、1画素深度は、画像の1画素整列精度に対するレンジ予想誤差を生じさせる。

表 1			
目標までの距離 (メートル単位)	画像中の目標のずれ (mm単位)	画像中の目標のずれ (画素単位)	1 (
3	2	363	0.01
5	1.2	218	0.01
10	0.6	110	0.01
25	0.24	43	0.5
50	0.12	22	2.0

表 2			
目標までの距離 (メートル単位)	画像中の目標のずれ (mm単位)	画像中の目標のずれ (画素単位)	1 (
10	2.4 mm	436	1
25	0.96 mm	175	1
50	0.48	86	1
100	0.24	22	1

表1は、本発明に係る手持ちGDMで使用するこ

きる、レンズ間隔が500mmに設定された12mmレンズおよび画素当たり0.0055mmのCCDセンサを示す。表2は、本発明に係る車両搭載GDMで使用する
5 mレンズおよび画素当たり0.0055mmのCCDセンサを示す。

本発明によれば撮影光学系に関する様々なオプションを使用することができる。図20を参照するとわかるように、左側のカメラ・センサおよび光学系と右側のカメラ・センサおよび光学系は、それぞれセンサを有する2つのデジタル・カメラ、または2つのセンサを有する1つのデジタル・カメラにデータを供給することができる。図19を参照するとわかるように、鏡を使用して右側および左側の画像を単一の高解像度CCD検出器に導くことができる。本発明の利益を有する当業者なら他の変形態様を容易に使用することができる。

本発明のGDMは、表示画面と、オペレータがGDMと対話するための手段とをさらに備えることができる。この対話手段はたとえば、タッチ・スクリーン、音声認識、または従来型のキーボードによるものである。

本発明の開示の利益を有する当業者なら、本発明の趣旨から逸脱せずに、本明細書で例示する特定の態様に様々な修正を加えられることが容易に理解されよう。たとえば、GDMのGPS機能はGDMの位置を示すための機能である。この機能は、他の衛星位置決定システムおよび地上ベースのシステムを含むがこれらに限らない他の位置決定手段によって実行することができる。本発明の装置を室内で使用するか、または高いビルに近接して使用するとき、衛星システムではなく地上ベースの位置決定システムを使用した方が有利であることは確かである。この装置は、ユーザが触れることのできるマップを表示するか、または他の何らかの方法でGDMの位置を指定することもできる。他の態様では、GDMを固定することができ、この場合、GDMの位置は既知である。

本発明のGDMは、目標の二次元位置を測定する必要のある応用分野で使用することができ、たとえば、目標の高さが必要とされないときに使用することができる。特定の態様では、図20を参照するとわかるように、本発明のGDMは2本のGPSアンテナと2つのカメラとを備え、これによって目標の二次元位置を測定することができる。この態様では、GDMの方位および位置を測定し、かつ2つのデジタル・カメラによって目標までの距離を測定し、それによって、目標の二次元位置を測定するために必要とされるデータを得ることができるように、2本のGPSアンテナをずらすことができる。または、コンパスによって方位を測定することができ、2つのカメラを使用してGDMの位置から目標までの距離を測定することができる。他の代替態様では、たとえば、目標の方向がわかっている場合、傾斜計および2つのデジタル・カメラによってピッチおよび距離のデータを得て、このデータを使用してGDMの位置から目標までの高さおよび距離を求めることができる。

好ましい態様では、本発明のGDMは、少なくとも3本のGPSアンテナと対応する受信機とを備え、GPSアンテナは平面に配置される。すべての3本のGPSアンテナによって1つのGPS衛星から信号を受信することによって、GDMのピッチおよびロールに関する情報と位置に関する情報を得ることができる。

したがって、この情報を、少なくとも2つのカメラから得た画像から測定された距離情報と組み合わせるときに、GDMは、撮影された目標の三次元での正確な位置に関する情報を与えることができる。有利には、3本のGPSアンテナを組み合わせた場合、平面内のすべての3本のGPSアンテナによってGPS信号が受信されるのでGDMの位置をより正確に測定することができる。

他の特定の態様では、図21を参照するとわかるように、本発明のGDMは、GDMの方位、ピッチ、および/またはロールに関するデータを与えることのできる、少なくとも1つのジャイロスコープ、たとえばレーザ・ジャイロスコープを備えることができる。有利には、レーザ・ジャイロスコープは、コンパスほど、金属による混乱を受けない。また、ジャイロスコープは、GDMのGPSアンテナが移動しているときにGPSから受信されるデータによって校正することができる。

他の態様では、本発明のGDMを他の構造、たとえば車両に組み込むことができる。この構造には、少なくとも1本のGPSアンテナと、GDMのカメラに対するGPSアンテナの位置に関するデータをGDMに与える手段とを組み込むことができる。この態様は、GDMを、たとえば高いビルの近くで使用し、GPS衛星信号が跳ね返る、および/または遮断される可能性がある場合に有用である。GDMは、構造、たとえば車両に対するGDMの位置がわかるように、その構造に取り付けるための手段を有することもできる。特定の態様では、アンテナ同士の間の距離を大きくし、したがって、距離をより正確に測定することができるようにGPSアンテナを構造上に取り付けることができる。

図16を参照すると、自動車、ボート、飛行機、またはヘリコプターなどの乗物で使用することのできる本発明の特定の態様が表示されている。この特定の態様では、ベース取付け装置を介して車両に取り付けることのできるデータ・バーに、2本のGPSアンテナ、2つのカメラ、および1つのジャイロスコープが組み込まれる。有利には、これによって、カメラ同士の間の間隔を大きくすることができ、したがって、距離を非常に正確に測定することができる。データ・バーは、高速データ・リンクによってユーザ・インタフェースに接続される。このデータ・リンクは有線でも、または無線でもよい。中央プロセッサ・ユニットは、ユーザ・インタフェースを付属装置として含むデータ・バー内に配置するか、またはユーザ・インタフェース・ユニット内に配置することができる。ユーザ・インタフェース・ユニットは、ユーザの手を自由にするために車両に取り付けるか、または使用時にユーザによって保持することができる。本発明の開示

の利益を有する当業者なら、構成要素と取付け技法の他の組合せを容易に構成し使用することができる。

代替態様では、手持ちユーザ・インタフェースがジャイロスコップと2つのカメラとを備え、GPSアンテナを

- 5 車両に取り付けることができる。ユーザは、GPS信号を使用してGDMの位置を測定できるように車両を位置決めすることができる。GDM位置が半明し、手持ちユニット内のジャイロスコップが較正されたら、ユーザは、GPS信号が利用できる場合でも利用できない場合でも
- 10 ある領域、たとえばビル内で、目標に接近することができる。GDMは、ジャイロスコップから受信されるデータによってGDM自体の移動を追跡し、撮影された目標の位置を測定するのを助けることができる。これによって、使用可能なGPS衛星信号が利用可能であるとは限
- 15 らない環境で本発明のGDMを使用することができる。特定の態様では、1組の加速計および1組のジャイロスコップによって、信頼できるGPS信号が利用できるとは限らない場合に推測航法位置計算を行うことができる。本発明の他の態様は、2つよりも多くのカメラを使用し
- 20 て、目標の高度な空間測定を行うことができる。他の態様では、特にGDMからかなりの距離に配置された目標の場合、距離測定精度を高めるために、レンズ同士の間の距離を大きくするように本発明のカメラを移動させることができる。この移動可能なカメラ・レンズは、好都合なように最初の位置に引き込むことができる。カメラはGDMに近い目標の場合には広角レンズを使用することができる。

本発明によれば、スペクトルのいくつかの異なる部分、たとえば赤外線に基づくカメラおよび／またはカメラ・レンズを使用することもできる。特定の態様では、カメラは熱検出用の赤外線センサを含むことができる。GDMは、収集することのできるデータの種類および量を補足するために追加の化学センサおよび環境センサを備えることができる。

- 35 好ましい態様では、本発明のGDMは、複数の種類のデータの本質的に同時に行われる収集を調和させるリアルタイム・オペレーティング・システムを有する。本発明のGDMの様々な構成要素の接続部およびインタフェースは、本明細書に記載された開示の利益を有する当業者によって構成し作製することができる。

以下に、本発明を実施する手順を示す実施例を示す。これらの例を制限とみなすべきではない。

実施例1—携帯可能な手持ちGDM 特定の態様では、図1を参照するとわかるように、本発明のGDMは、Mi

- 45 c r o w a r e の O S - 9 (OS-9 Version 3.0 Documentation, 1995 Microware Systems Corp., アイオワ州 Des Moines) 埋込みオペレーティング・システムをROMから実行することができる。コンピュータの核は、2メガバイトのROMと1メガバイトのスタチックRAMとを含むG e s p a c S B S G B 8 - 1 0 (G e s p a c I n c . , アリゾナ州M e s a)である。これは、6つのシリアル・ポートを含むM o t o r o l

a 6 8 3 4 0 CMOS低電力プロセッサを有する。図3を参照されたい。

- 55 小形キャリア・ボードは2つのインダストリ・パック・モジュールを有する。

第1のモジュールは、小形のS h a r p 6 4 0 x 4 8 0 TFTアクティブ・マトリックス・フラット・パネル・カラー画面と相互接続されたG r e e n S p r i n g s I P - L C D V G A (G r e e n s p r i n g C o m p u t i n g I n c . , カリフォルニア州M e n l o P a r k) コントローラを有する。このカラー画面は、デジタル画像、マップ、およびその他のデータを、検証し収集できるように表示する。図7を参照されたい。第2のインダストリ・パック・モジュールは、8メガバイトのフラッシュ・メモリを含む記憶モジュールである。図5を参照されたい。

- ユーザは、第6のシリアル・ポート上のD y n a p r o タッチ・スクリーン (D y n a p r o S C 3 T o u c h S c r e e n C o n t r o l l e r a n d S o f t w a r e U s e r s R e f e r e n c e V e r s i o n 1.1, 1995年, D y n a p r o T h i n F i l m P r o d u c t s) を介し、および／または第1のシリアル・ポートに接続されたO K I 半導体音声制御モジュールから与えられる音声プロンプトおよびコマンドを介して、対話する。図8および1を参照されたい。

G a t o r D i g i t a l カメラ (Gator Digital Camera Users Guide and Reference, 1994年, D y c a m , カリフォルニア州C h a t w o r t h) のステレオ対は、高速同期接続部を介して第2のシリアル・ポートに取り付けられる。この2つのカメラは、当該の目標の被写界深度計算および三次元デジタル化を行えるようにステレオ画像対を与える。図9および図10を参照されたい。

8チャンネルT r i m b l e G P S 受信機(T r i m b l e N a v i g a t i o n , カリフォルニア州S u n n y v a l e) は第3のポート上にある。GPSデータを1m~2mの精度に補正するD C I 微分補正受信機は直接、GPS受信機に接続される。図6を参照されたい。

P r e c i s i o n N a v i g a t i o n デジタル・コンパス・ユニットは、第4のポート上で、方向、ピッチ、ロールを測定すると共に、温度を測定する (P r e c i s i o b N a v i g a t i o n T C M 2 E l e c t r o n i c C o m p a s s , 1994年, P r e c i s i o n N a v i g a t i o n , カリフォルニア州M o u n t a i n V i e w) 。図4を参照されたい。

他のポートは、最大1マイルの見通し距離で通信する、D i g i t a l W i r e l e s s スペクトル拡散を使用した通信に使用される。無線パケット無線リンクは、インターネットを介したデータの送受信との互換性が得られるようにt c p / i p プロトコルを使用する。図12を参照されたい。

グラフィカル・ユーザ・インタフェースはG - W i n d o w s (G - W i n d o w s a n d G - V i e w D e v e l o p e r s M a n u a l , 1995年, G e s p a c S . A . , ジュネーブ) に基

づくインタフェースでよい。G-windowsは完全にROMから実行することができ、有効なインタフェースを形成する。G-View、すなわちウィジェット・ビルダは、データ・センサを制御するオブジェクト指向ウィジェットを構築するために使用される。タッチ・センシティブ・カラー画面は、調査中の目標のカラー・デジタル画像および白黒デジタル画像を表示するために使用され、目標測定プロセスで使用される。目標は、データ・マップのGPS位置を目標に並進させることによってデジタル化される。この距離は、ユーザがデジタル画像中の当該の目標に触れ、コンピュータが自動的に、ステレオ対画像中の同じパターンを見つけることによって算出される。方位は、コンパスおよび傾斜計の読取り値から算出される。

音声コマンドおよび制御モードでは、システムは、音声によってオペレータに入力を求め、ユーザからの音声コマンドが処理されたときに適切なアイコンを点滅させる。これによって、オペレータの手が自由になり、他の作業を行うことができる。音声コマンドおよび音声制御は、視界の不十分な状況で助けとなると共に、目の不自由なユーザにも助けとなる。

実施例2ー遠隔目標の測定 一方の画像上の2つの点に触れ、システムに、方向データ、ピッチ・データ、ロール・データ、レンズ特性、およびレンズ間隔から、各点についての三次元座標を算出させることによって、当該の目標を現場で測定することができる。点同士の間の距離を算出することができる。すべてのデータは、将来、デスクトップ・コンピュータ上で同様なソフトウェアを用いて処理できるように、および／またはユーザが写真からより詳細な情報を取り込む必要がある場合に、ステレオ画像対と共に記憶される。

実施例3ー目標の三次元デジタル化 ユーザが、GPSが位置座標を与えている当該の目標の方向ヘデータ・コレクタ・ユニットを向けると、システムはステレオ・カメラ対の方向、ピッチ、およびロールも監視する。ステレオ・データおよびカメラの三次元方位から、調査中の目標の相対三次元座標が算出された後、目標の実際の位置が算出され記録される。

実施例4ー現場での目標のマッピング ステレオ画像対に配置された目標に関して導かれた座標を使用して、地理情報システム・マップ・レイヤが構築される。各目標には、目標の写真、目標の次元、およびユーザが含める必要のあるその他の属性を含む属性データを記憶させることができる。たとえば、音声プロセッサによって音声記述をタグ属性としてデジタル化するか、またはアイコン駆動システムを使用して現場観測値を取り込むことができる。

実施例5ー画像の特殊処理 各ステレオ画像対には位置データおよび方向データが記憶されており、したがって、写真の平面は既知である。このため、画像の方位を補正することができる。たとえば、ある角度を付けて写真を撮影した場合、この写真中の傾斜をなくすように画像を

回転させることができる。また、ユーザによって直接、次元を読み取ることができるように、写真中の目標の表面上にフローティング・スケールが配置される。スケール上の単位は、ステレオ画像およびその関連データを処理することによって得られた情報から自動的に設定される。

実施例6ー既存の地理情報システム・データの現場での補正 既存のマップ・データ・セットをシステム上にロードすることによって、既存のデータが現場で補正される。ユーザはマップを現場に取り込む。マップ上の地形が撮影される際、ユーザはマップ上の目標と、ステレオ写真対中の目標に触れる。システムは自動的に、目標までの変位を算出し、手持ちデータ・マップのGPS座標を目標に並進させる。次いで、この新しい正確な座標を使用して、高度座標の追加を含め、古い地形座標が更新される。

実施例7ー三次元ワイヤ・フレーム・スケッチの生成 いくつかのアルゴリズムを使用して当該の目標のエッジが強調される。たとえば、画像のラプス変換によって写真中の目標のエッジが強調される。これらのアルゴリズムは、ステレオ・デジタル写真対中の同じ目標の画像対の変位測定の計算を助けるために使用される。画像が強調された後、システムは、調査中の目標のワイヤフレーム三次元モデルを生成することができる。複雑な状況では、ユーザは調査中の目標のいくつかの異なる側からいくつかの画像対を得ることができる。この場合、目標のより複雑なデジタル三次元マップおよびモデルがデータから構築される。

実施例8ーMotorola 821 Power PCプロセッサを使用するGDM 図13を参照するとわかるように、本発明の他の特定の態様では、集積度の高いMotorola 821 Power PCプロセッサに基づいてGDMが開発された。このマイクロプロセッサはPCカード(PCMCIA)、RAMメモリ、フラッシュ・メモリ、およびLCDディスプレイとのインタフェースをチップの一部として有する。GDM PCカード、RAMメモリ、フラッシュ・メモリ、およびLCDディスプレイは、それぞれの埋込みコントローラおよびロジックを介して821 PPCチップに直接接続される。このプロセッサを使用することの利点として、低電力、小形、低コストが挙げられる。PCカード・スロットには多くの種類の装置を挿入することができるが、たいていは、半導体ハード・ディスク・ドライブを使用してマップ、デジタル画像、関連データが記憶される。

Motorola MPC821は、6チャンネル高速通信プロセッサも有する。第1のチャンネル(SCC1)は、企業で使用されるEthernetローカル・エリア・ネットワークに直接接続されたEthernetトランシーバに接続される。第2の通信ポート(SCC2)は、カメラと一体のデジタル信号プロセッサ(Texas Instruments TMS320cx)で形成された高速同期ポートを有する2つのDycam Gator

デジタル・カメラとの5メガビット同期インタフェースを形成する。第3のポート(SMC1)は、ローカル・シリアル・ポートとして働くか、または2.4ギガヘルツ・スペクトル拡散2方向デジタル・パケット無線を行うように切り替えられる。第4のポート(SMC2)は、Trimble 8チャネルGPS受信機とのインタフェースをとる。第5のチャネル・シリアル周辺インタフェース(SPI)は、スタイラスまたは指でLCDパネルに触れることによってユーザ入力を生成するタッチ・スクリーン・コントローラに接続される。第6の通信ポートはI2Cインタフェース(I2C)を使用する。I2CはDuracell DR35スマート・バッテリーのI2Cポートとのインタフェースと、Precision Navigationデジタル・コンパスおよび傾斜計に接続されたI2Cシリアル・インタフェースを形成する、簡単な内部ネットワークを形成する。第2のGPS受信機を使用する際にも、I2Cが好都合なインタフェースを形成する。

GDMコンピュータのコア・ソフトウェアは、Power PC用のMicroware OS9000リアルタイム・オペレーティング・システムによって与えられる。デバイス・ドライバは、通信チャンネルに接続されたすべての構成要素と、LCDグラフィック・ディスプレイおよびPCカード・スロットとのインタフェースをサポートする。TCP/IPネットワーク・ソフトウェアはインターネットとの有線ネットワーク・インタフェースおよび無線ネットワーク・インタフェースを形成する。Sun Microsystems JAVA仮想マシンは、GDMのネットワーク機能を拡張するのに用いられる。

GDMを構成する主要な装置のそれぞれについてJavaクラスが設けられる。たとえば、カメラ・クラス、コンパス・傾斜計クラス、バッテリー・クラス、およびGPSクラスがある。これらのクラスはそれぞれ、データ・センサへの低レベル・アクセスを可能にし、ある種の処理を実行するようにCまたはC++で書かれたJAVANEイティブ・メソッドを有する。図14は、カメラ・クラスの流れ図を示す。ユーザが見るすべてのグラフィックス・インタフェースは、JAVAで書かれており、ネットワーク接続を介してダウンロードすることができる。

GDMアプリケーションが写真を撮影する場合、アプリケーションはまず、カメラ・クラスを使用してカメラ・オブジェクトを作成し、次いでこのオブジェクトにメッセージを渡すことができる。たとえば、ステレオ・デジタル画像対を取り込むには、「take Picture」メッセージをカメラ・オブジェクトに送信する。

図15は、前述のシステムを用いて実施されるGDMの手持ちバージョンを表す。図15には、ステレオ・カメラおよびステレオGPS受信機が示されている。コア手持ちコンピュータ・モジュールに角度 α 、好ましくは約150度で取り付けられたプラットフォーム上のレンズに直角にGPSアンテナが取り付けられる。この設計では、ユーザが、写真を撮影しながら画面上の画像を見る

(ライブ・ビュー・ファインダ)ことができ、より好都合である。図16は、ステレオGPSおよびステレオ・カメラが、ユーザ・インタフェースから分離された構造上に取り付けられた、本発明のGDMの態様を示す。この態様は、GDMが車両と共に使用される状況で有用である。GPSアンテナおよびカメラを収納する構造を車両の外部に取り付け、コンピュータ・ディスプレイ・モジュールを車両の内部に取り付けるか、または手持ち用に構成することができる。

本明細書で説明した実施例および態様が例示的なものに過ぎないこと、これらの実施例および態様を鑑みて様々な修正または変更が当業者には示唆されるであろうこと、ならびにこのような修正および変更は、この応用分野の趣旨および範囲内ならびに添付の各請求の範囲内に含まれることを理解されたい。

参考文献

Astec DC to DC converter, Astec America, Inc., Oceanside, CA.

Dibble, Peter (1994) *Insights. An Advanced Programmers Guide to OS-9 3.0 Edition*, Microware Systems Corp., Des Moines, Iowa.

Gator Digital Camera Users Guide and Reference (1994) Dycam, Chatworth, CA.

Dayan, Paul S. (1992) *The OS-9 Guru: The Facts*, Galactic Industrial Limited, Durham, UK.

Dynapro SC3 Touch Screen Controller and Software Users Reference, Version 1.1 (1995) Dynapro Thin Film Products.

G-Windows and G-View Developers Manual (1995) Gespac S.A., Geneva.

Gespac GWSSSS-10 Low Power CMOS MC68340 Single Board System, 1995, Gespac Inc., Mesa, AZ.

Gespac Quad Asynchronous Serial Interfaces XSBSIO-2, 1995, Gespac, Inc., Mesa, AZ.

Greenspring Computer IP-LCD VGA Industry Pack, 1995, Greenspring Computing Inc., Menlo Park, CA.

OS-9 Version 3.0 Documentation, 1995, Microware Systems Corp., Des Moines, Iowa.

Precision Navigation TCM2 Electronic Compass, 1994, Precision Navigation, Mountain View, CA.

Sharp LQ64D142 TFT-LCD Module, 1995, Sharp Liquid Crystal Display Group, 1995, Camas, WA.

Trimble GPS Receiver, 1995, Trimble Navigation, Sunnyvale, CA.

